

SRPSKA AKADEMIJA NAUKA I UMETNOSTI I
ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT "NIKOLA TESLA" - BEOGRAD
DRUGO SAVETOVANJE O ENERGETSKOJ ELEKTRONICI

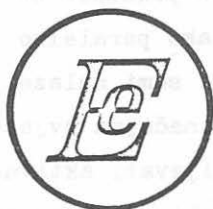
Zlatko BOBETIĆ, dipl.ing.

"Rade Končar" - OOUR Inženjering za energetska elektro-
niku i mjernu tehniku, Zagreb

Anton LISAC, dipl.ing.

"Rade Končar" - OOUR Elektrotehnički institut, Zagreb

PULT ZA MODELIRANJE SKLOPOVA ENERGETSKE ELEKTRONIKE -
SREDSTVO MODERNIZACIJE NASTAVE ENERGETSKE ELEKTRONIKE



BEOGRAD

novembra 1975.

PULT ZA MODELIRANJE SKLOPOVA ENERGETSKE ELEKTRONIKE -
SREDSTVO MODERNIZACIJE NASTAVE ENERGETSKE ELEKTRONIKE

Zlatko Bobetić, Anton Lisac

Nastava energetske elektronike zahtijeva od studenata postepeno i temeljito ulaženje u nastavno gradivo. Pult za modeliranje sklopova energetske elektronike omogućava praktičnu potvrdu teoretskih postavki i aktivno sudjelovanje studenata. Pult je projektiran na principu modularnog sistema tako da se s tiristorima i diodama lako formiraju željeni spojevi. Impulsni uređaj je univerzalne izvedbe, tj. pogodan je za sve osnovne usmjerivačke spojeve. Pomoću pulta moguće je na osnovu pisanih uputa vrlo brzo realizirati vježbe. Pult za modeliranje sklopova energetske elektronike pogodan je za fakultetsku i srednju stručnu nastavu, a pogodan je i za obuku kadrova u privredi radi osposobljavanja kadrova za održavanje opreme energetske elektronike.

1. UVOD

U toku višegodišnje nastave predmeta Usmjerivači na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu i u novije vrijeme predmeta Energetska elektronika na Visokoj tehničkoj školi u Zagrebu pokazalo se da je studentima lakše razumijevati nastavno gradivo ako paralelno s teoretskim dijelom nastave postepeno i putem vježbi sami nalaze potvrdu teoretskih postavki. Potrebno je naglasiti dva značajna uvjeta. U nastavno gradivo treba ulaziti postepeno i zahtijevati aktivno sudjelovanje prilikom modeliranja vježbi čime se eliminiraju nezainteresirani promatrači.

Radi toga su u obje spomenute ustanove uvedene vježbe pomoću

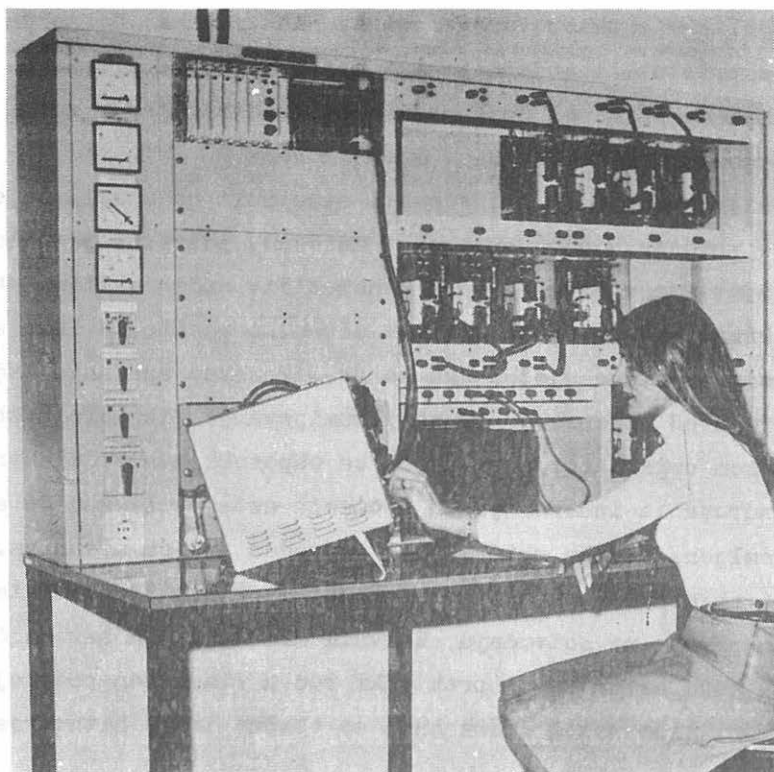
pulta za modeliranje sklopova energetske elektronike. Očito da su i drugdje pristupili modernizaciji nastave jer se u literaturi (1,2) nalaze opisi sličnih nastavnih sredstava koje su proizvele poznate firme Siemens i Brown Boveri.

Međutim nije dovoljno posjedovati samo pult za modeliranje. Budući da je vrijeme vježbi strogo ograničeno, potrebno je bilo napisati i upute za vježbe koje na nenametljiv način aktivnog učesnika vode kroz vježbu. Upute upućuju učesnika vježbe da lako savladava nevažne djelove vježbe kao na pr. ispravno spajanje itd. ali zahtijevaju od učesnika potpuno razumijevanje fizikalnih zbiivanja. Prilikom organizacija seminara za osposobljavanje elektrotehničkih kadrova iz industrijskih poduzeća ustanovili smo da su ovako pripremljene vježbe naišle na izvanredan prijem učesnika. Oni su nam i objasnili zašto. Imali su naime priliku da teoretski dio seminara paralelno potvrđuju aktivnim modeliranjem bez da čekaju priliku koja će im se za praktički rad u vlastitom postrojenju pružiti prilikom nekog kvara kada se obično traži hitno rješavanje.

2. OPIS PULTA ZA MODELIRANJE SKLOPOVA ENERGETSKE ELEKTRONIKE

Pult za modeliranje sklopova energetske elektronike predviđen je za opremu laboratorija. Priključuje se na napon mreže 3x380V, 50 Hz. Predviđena je uz pult i akumulatorska baterija od 48V. Slika 1 prikazuje pult smješten na laboratorijskom stolu.

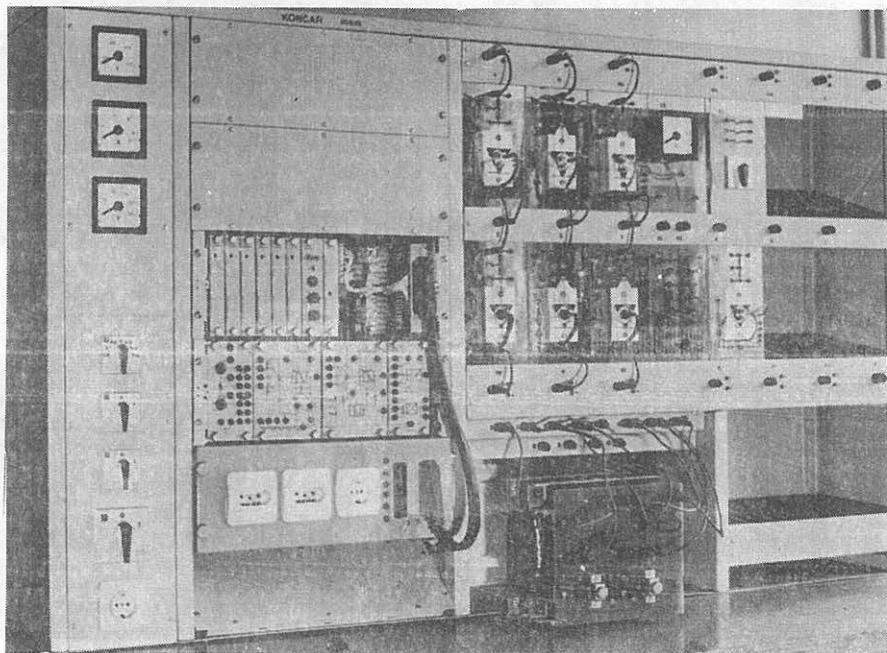
Lijevo je vidljivo vertikalno polje pulta s instrumentima i sklopkama. Tu se nalazi voltmetar za kontrolu i mjerenje ulaznih linijskih i faznih napona. Željeni napon bira se najgornjom sklopkom u ovom vertikalnom polju pulta. Ispod voltmetra je ampermetar kojim mjerimo struju jedne faze. Ugrađeni su još $\cos\varphi$ -metar i vatmetar. Ispod voltmetarske sklopke nalazi se sklopka za uključivanje -isključivanje energetskog dijela pulta (primarna strana raznih



Sl. 1. Pult treba postaviti na laboratorijski stol dužine 1800 mm, širine 780 mm i visine oko 800 mm.

transformatora koji pripadaju opremi pulta) i sklopka koja uključuje-isključuje izmjenično napajanje pulta (cjelokupne elektronike). Najniže smještena grebenasta sklopka uključuje-isključuje istosmjerno napajanje pulta naponom 48V. Iza ploče ovog polja smještena je i zaštita od prenapona. Zatim slijedi vertikalno polje predviđeno za ugradnju montažnih okvira elektronike. Na slici 1 vidi se u tom polju impulсни uređaj s kablom koji ga povezuje s pultom.

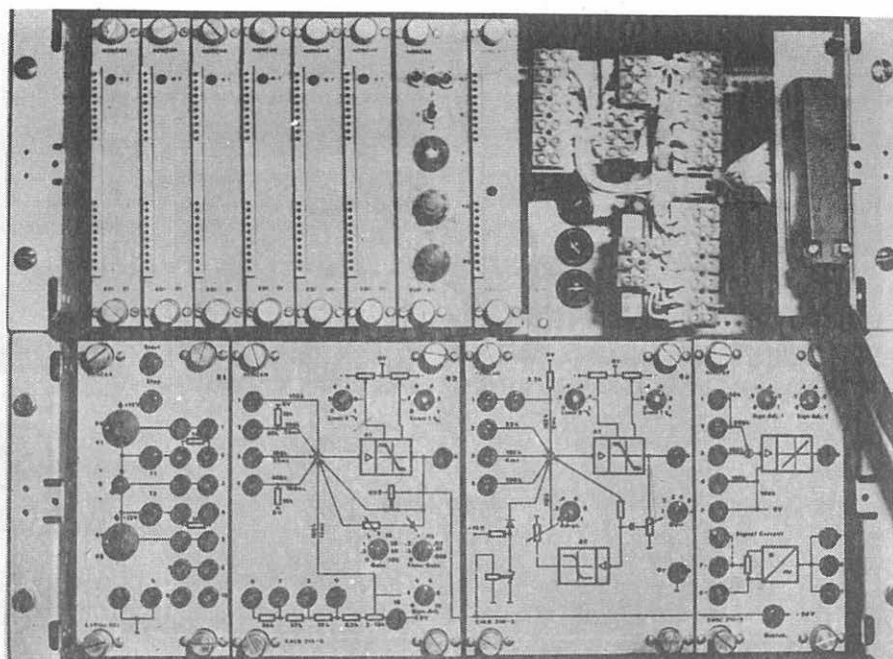
Dio vertikalnog polja pulta (vidi sl.2) iskorišten je za smještaj svih osigurača koji se nalaze iza metalnih vratašca.



Sl. 2. Vertikalno polje za ugradnju montažnih okvira elektronike omogućuje smještaj četiri montažna okvira dimenzije 482X177,8 mm. Osim impulsnog uređaja ovdje je ugrađen i kompletan električki regulator.

Na vratašcima su dvije trolejne i jedna dvopolna priključnica. Na vratašcima desno su dva kućišta konektora. Priključne stezaljke ovih konektora su međusobno paralelno spojene, a spojene su unutarnjim ožičenjem i sa odgovarajućim stezaljkama na modulnim poljima pulta preko kojih se dovodi impuls za okidanje tiristora.

Na slici 3. se vidi impulсни uređaj koji ima šest impulsnih jedinica s ukupno dvanaest izlaznih kanala. Svaka impulсна jedinica EDI 01-A namijenjena je za upravljanje dva paralelno ili



Sl. 3. U gornjem montažnom okviru nalazi se impulsni uređaj. Impulse vodimo do modulnih polja pulta preko konektora pomoću dvanaest žičnog kabla (vidi se na desnoj strani slike). U donjem montažnom okviru nalazi se kompletan elektronički regulator.

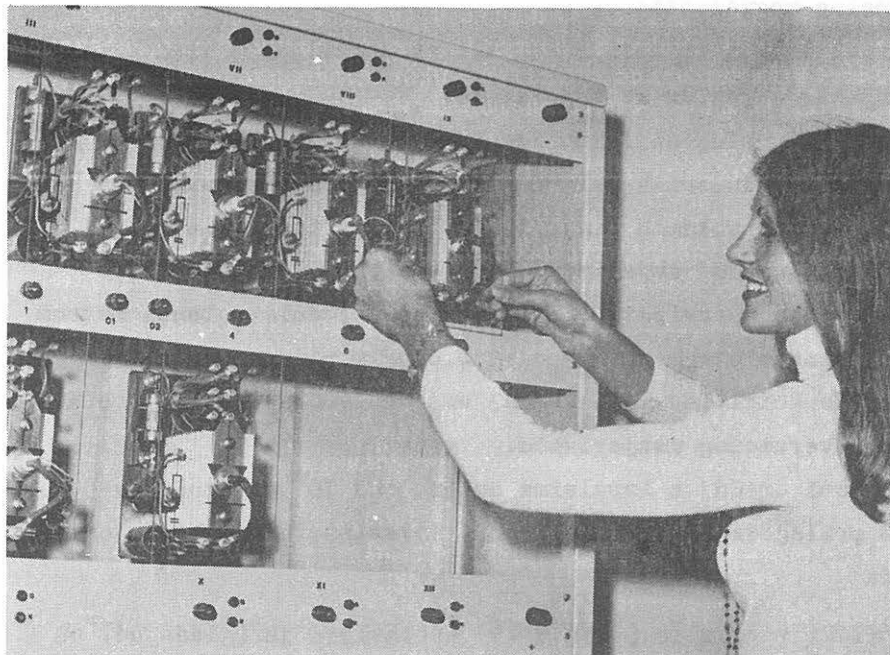
serijski spojena tiristora što posve zadovoljava potrebe kod modeliranja spojeva energetske elektronike. Po dva kanala daju istofazne impulse koji su galvaniski odvojeni. Obzirom da su svi spojevi određeni, očito je da imamo uvijek impulse iste faze na modulnim poljima pulta. Radi toga se mora prema uputama stavljati tirištorske module u posve određena modulna polja pulta čime se postiže ispravan fazni položaj impulsa za okidanje tiristora. Impulsni uređaj ima i upravljačku jedinicu (vidljive su na prednjoj ploči te jedinice tri mikro preklopke i tri potencio-metra). Raznim položajima mikro preklopki postižu se slijedeće

funkcionalne mogućnosti:

- upravljanje može biti ručno ili se upravljanje vrši vanjskim signalom iz regulatora.
- impulsni uređaj daje impulse dužine oko 70° na svih dvanaest modularnih polja čime se omogućuje moduliranje svih mrežom vođenih usmjerivačkih spojeva s tiristorima.
- impulsni uređaj daje impulse dužine oko 9° s time da se ručno može upravljati s tri impulsa s jednim potencijetrom i posebno s druga tri impulsa s drugim potencijetrom. U ovoj funkciji impulsni uređaj omogućuje modeliranje trofaznog reverzionog usmjerivača.
- impulsni uređaj s impulsima dužine oko 70° s faznim rasporedom prilagođenim za modeliranje nezavisno vođenih izmjenjivača

Električki regulator (vidi sl.3) sastavljen je (gledajući od lijeva prema desno) od davača reference EAPGU-001, regulatora napona odnosno brzine vrtnje EALB 214-S, regulatora struje EALB 216-S i pojačala snage EANC 210-S. Konceptija ovog kombiniranog regulatora bazira na elektroničkom analognom sistemu Combitrol-Rade Končar. Ovaj kombinirani regulator namijenjen je za regulaciju brzine vrtnje istosmjernih motora i za regulaciju napona i struje ispravljača za punjenje akumulatorskih baterija. Pojedini se moduli mogu upotrebiti i za druge svrhe. EALB 214-S je PI-regulator napona, odnosno brzine vrtnje. Ima veliko pojačanje i odlična dinamička svojstva. EALB 216-S je također PI-regulator namijenjen brzim regulacionim krugovima, prvenstveno kao regulator struje. Kompletan elektronički regulator specijalno je izveden za nastavne svrhe. Prednja ploča svakog modula opremljena je tako da se mogu izvesti razni međuspojevi, a dostupne su i potrebne mjerne točke. Prednje ploče modula ujedno prikazuju osnovnu blok shemu regulatora.

Na sl. 2 desno gore vidimo dvije horizontalne etaže pulta.



Sl.4. Moduli se vrlo lako i jednostavno stavljaju u horizontalne etaže pulta. Etaže imaju gornji i donji utor. Modul se uložiti u gornji utor, a zatim se spusti u donji utor. Donji utor omogućuje pomicanje modula "klizanjem"

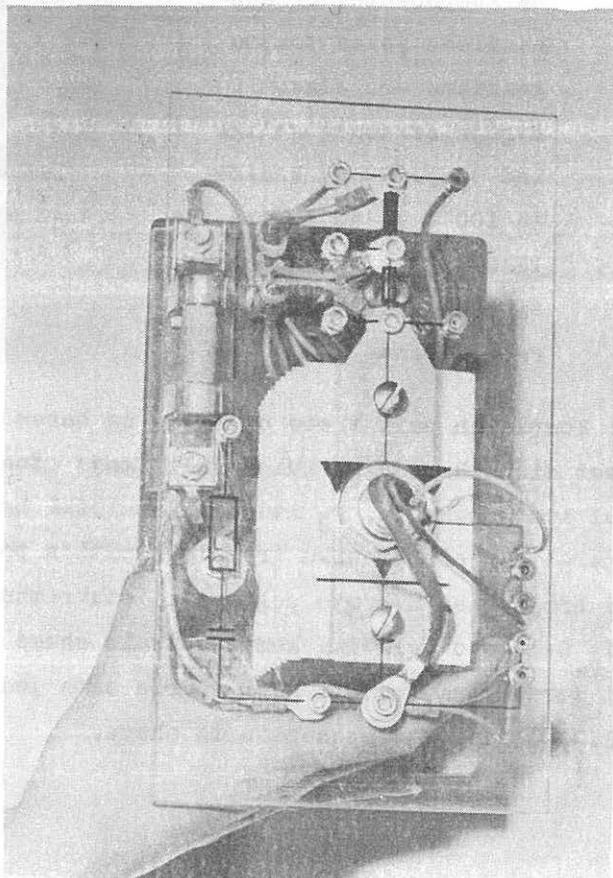
Na sl. 4 je vidljivo da su horizontalne etaže podijeljene u dvanaest modulnih polja označenih rimskim brojevima. Svako modulno polje opremljeno je jednom aparatnom stezaljkom za izvedbu spoja i dvjema aparatnim stezaljkama za spoj impulsnog uređaja s tiristor-skim modulom. Između obje horizontalne etaže (vidi sl.2) nalaze se aparatne stezaljke koje su nutarnjim ožičenjem povezane s aparatnim stezaljkama u prostoru niže gdje se stavljaju transformatori. Ovaj prostor za transformatore ima priključke $3 \times 380V$, 50 Hz na koji se priključi primar transformatora. Sekundar transformatora (niži napon neopasan za čovjeka) spaja se s aparatnim stezaljkama. Tako dobivamo odgovarajući napon po visini i broju faza na aparatnim stezaljkama između obje horizontalne etaže.

U horizontalnim etažama vrši se modeliranje spojeva. Desno od prostora za transformatore nalazi se još jedna kratka horizontalna etaža za smještaj modula.

3. OPREMA PULTA ZA MODELIRANJE SKLOPOVA ENERGETSKE ELEKTRONIKE

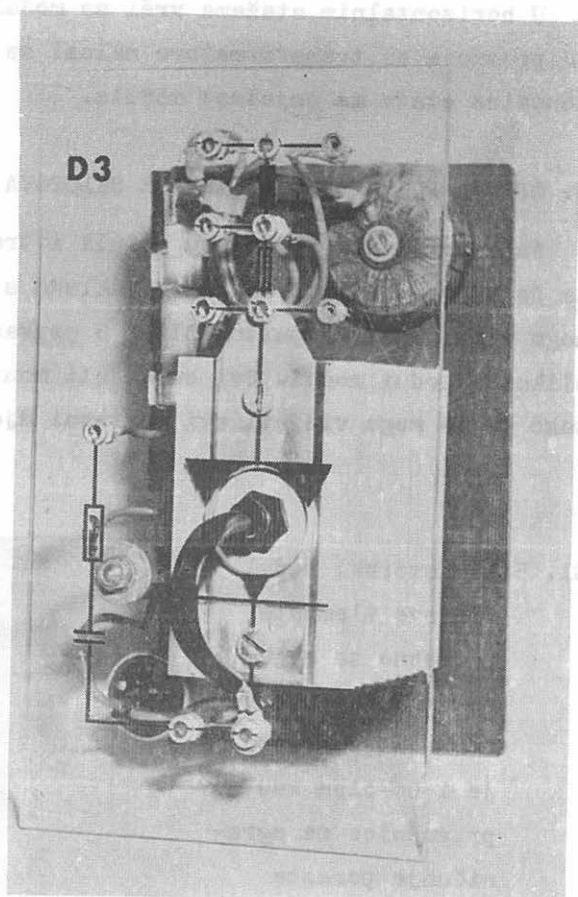
Najvažniji dio opreme su moduli i transformatori. Oprema pulta će se vremenom povećavati u skladu s razvojem vježba koje se mogu modelirati na pultu. Slika 5 prikazuje tiristorski modul, a slika 6 diodni modul. Svi su moduli montirani na prozirnu ploču tako da se mogu vidjeti svi sastavni dijelovi modula.

Sl. 5 Tiristorski modul ima sve elemente potrebne za siguran rad tiristora. Osim osigurača tu je i RC-član kao i prigušnica za ograničenje porasta struje. Sve ove elemente može se spojiti s tiristorom sa spojnim vodovima. Time možemo demonstrirati utjecaj ovih elemenata na rad tiristora. Ugrađeni tiristor je za trajnu graničnu vrijednost struje sinusnog oblika kod



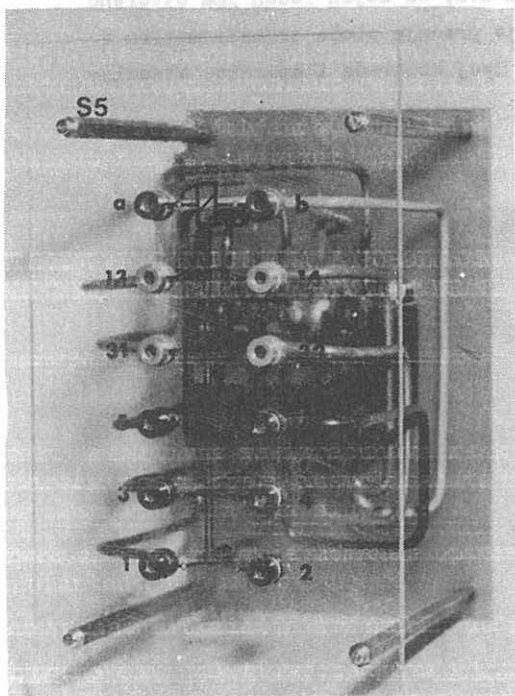
temperature kućišta 85°C od 45A i za 1200V vršne vrijednosti periodičkog ili udarnog napona.

Sl.6. Diodni modul ima također sve potrebne zaštitne elemente kao i tiristorski modul. Na prednjoj ploči je nacrtana shema u koju su istim slijedom ugrađene komponente. Ugrađena dioda je za trajnu graničnu vrijednost struje sinusnog oblika kod temperature kućišta 100°C od 50 A i za 1200V vršne vrijednosti periodičkog ili udarnog napona.



Kompletan pult treba opremiti sa barem šest tiristorskih i šest diodnih modula. Svi moduli imaju oznaku (na pr. diodni modul ima oznaku D_1 , D_2 itd.) i kataloški broj. Laboratorij za energetska elektronika treba opremiti s potrebnim modulima čiji broj ovisi o broju pulteva i istovremenosti održavanja vježbi. Ovisno o veličini komponente iz sheme koju želimo modelirati izrađeni su moduli koji sadrže samo jednu komponentu (vidi sl.7) ili više komponenata iz sheme.

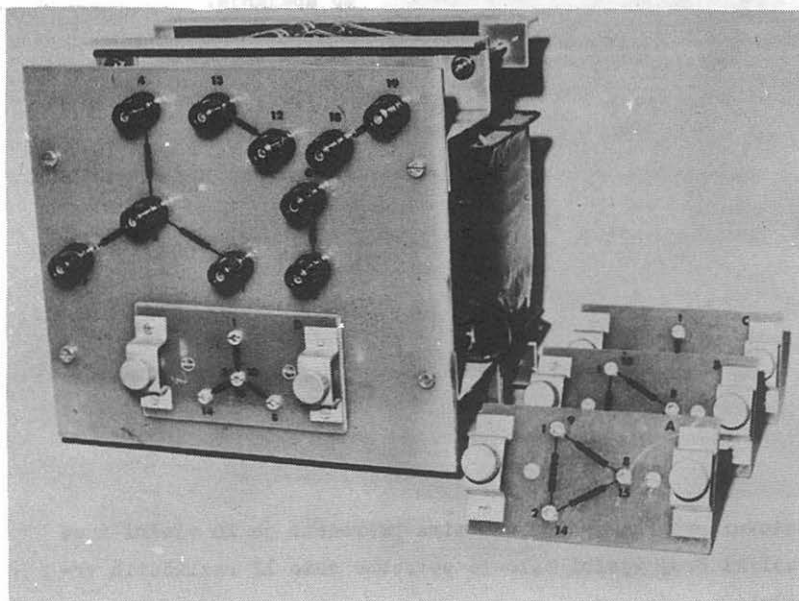
Sl.7. Modul S5 je u stvari sklopnik Rade Končar CN16 za 30A, od kojeg se svi izvodi nalaze na prednjoj ploči i prikazani su shemom kontakata. Sve mora biti vidljivo i praktično za brzo spajanje.



Za nastavni program jednog semestra priređeno je 20 vježbi i za tako veliki broj vježbi bilo je potrebno samo 12 različitih vrsta modula.

Transformatori, neophodni za modeliranje, izvedeni su na principu univerzalnosti tako da se pomoću njih može modelirati veliki broj spojeva. Jednofazni transformator je namijenjen za modeliranje jednofaznih i dvofaznih usmjerivačkih spojeva kao i za modeliranje nezavisno vođenih izmjenjivača. Trofazni transformator ima tako odabrani broj zavoja primara i sekundara da se većina usmjerivačkih spojeva može realizirati uz primarni napon 380/220V i ispravljeni napon istosmjernog kruga od 48V. Primarni na-

mot ima odcjepe a sekundara su dva, od kojih jedan ima otvoreno zvjezdište. Na sl.8 vidljiva je prednja ploča transformatora s prikazom spoja dva sekundara. Spoj obuhvaća i aparate stezaljke za spajanje.



Sl.8. Trofazni transformator tipne snage 2,14 kVA opremljen je s četiri utična sklopa A, B, C, i D za brzo mijenjanje spoja primarnog namota. Izrađena je i tabelarna uputa sa prikazom mogućnosti spajanja primara i sekundara. U tabeli su dani prenosni omjeri, grupe spoja i efektivne vrijednosti faznog napona sekundara transformatora uz primarni fazni napon od 220V.

Projektiranje i konstrukcija cijelog pulta za modeliranje sklopova energetske elektronike kao i cjelokupne opreme pulta bili su

podređeni ideji da sve treba biti što je moguće više univerzalno, jednostavno, vidljivo i praktično. Pult i osnovna oprema već se nalazi u upotrebi. Međutim s novim zamislima povećat će se oprema pulta. Kupac takovog pulta može već sada, obzirom na opseg nastave, da izabere samo onu opremu koju želi. Konceptcija pulta omogućava vrlo raznoliki program nastave:

- ispitivanje i mjerenja karakterističnih veličina poluvodičkih komponenata
- modeliranje pretvaračkih spojeva
- modeliranje regulacionih krugova
- modeliranje elektromotornih pogona
- modeliranje ostalih primjena energetske elektronike

4. KAKO SE UPOTREBLJAVA PULT

Modeliranje nekog sklopa energetske elektronike vrši se u beznaponskom stanju. U slučaju pogrešno izvedenog spoja kao zaštita od kratkog spoja i preopterećenja predviđeni su osigurači tiristorskih i diodnih modula i osigurači pulta.

Modeliranje svake vježbe je opisano u posebnoj uputi za vježbu. Predviđeno je da vježba rade studenti sami u grupama po 3-4 studenta, uz nadzor demonstratora ili asistenata. Studenti dobivaju pismene upute nekoliko dana prije vježbe. Za one studente koji žele proširiti svoje znanje u uputi je navedena i literatura.

U uputi se kratko teoretski objašnjava vježba i dana je shema spoja s naznačenim mjernim točkama. Zatim je prikazano kako treba smjestiti module u horizontalne etaže pulta. Pomoću sheme i prikaza smještaja modula lako se izvede spoj. U uputi se zatim nalaze točni zahtjevi koje trebaju ispuniti studenti i pitanja na koja trebaju odgovoriti. Osnovni mjerni instrument s kojim se studenti služe je katodni osciloskop (s minimalno dva ulazna kanala). Nakon završene vježbe studenti trebaju pismeno obraditi vježbu, dati od-

govore na pitanja i nacrtati vremenske dijagrame raznih električkih veličina. Ako rade sve ovo što je opisano i to u malim grupama iskustvo pokazuje da gotovo nema ili bolje rečeno da ne može biti nezainteresiranih promatrača.

5. ZAKLJUČAK

Za potrebe nastave energetske elektronike razvijen je pult za modeliranje sklopova energetske elektronike. Pomoću pulta je već modernizirana nastava energetske elektronike na nekim višokoškolskim ustanovama. Studenti su u mogućnosti da sami realiziraju različite spojeve energetske elektronike, vrše mjerenja i time praktično potvrđuju i proširuju teoretsku nastavu. Osobito je važan samostalan rad studenata priređene su pismene upute za svaku vježbu koje upućuju studente u cijelom toku vježbe bez bitnog utjecaja na samostalnost u radu.

Konceptija pulta i cjelokupne opreme je jednostavnost, univerzalnost i zorno prikazivanje spojeva i svih komponenata.

Pult se može koristiti i za brzo modeliranje raznih spojeva u razvojne svrhe. Dosadašnja upotreba pulta naišla je na dobar prijem kod studenata i doprinijela modernizaciji nastave energetske elektronike.

6. LITERATURA

- (1) Theuerkauf/Palme: Demonstrationsmodell für Thyristorschaltungen, Siemens-Zeitschrift 8/69 str. 694-698

- (2) Rüdiger Fuchs: Fortbildung und antriebstechnische
Untersuchungen mit einem Stromrichter-Lehr-
model,
BBC Nachrichten 7/75 str. 426-430

ADRESA AUTORA:

Zlatko Bobetić, dipl. inž.

"Rade Končar" OOUR Inženjering za energetska elektroniku
i mjernu tehniku
Zagreb, Baštijanova bb.

Anton Lisac, dipl. inž.

"Rade Končar" OOUR Elektrotehnički institut
Zagreb, Baštijanova bb.

(2) Wagler, Robert: Vergleich und kritische Zusammenfassung
Literaturangaben zur Stammesgeschichte der
Mollusca.
BMC Nachrichten 1976, Nr. 428-430

1976, Nr. 428

Die hier beschriebenen 4 Gattungen
sind neuartig und stellen eine
neue Gruppe dar.
BMC Nachrichten 1976, Nr. 428-430

Die hier beschriebenen 4 Gattungen
sind neuartig und stellen eine
neue Gruppe dar.
BMC Nachrichten 1976, Nr. 428-430